

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-100697

(43)Date of publication of application : 07.04.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 7/20

(21)Application number : 10-268197

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 22.09.1998

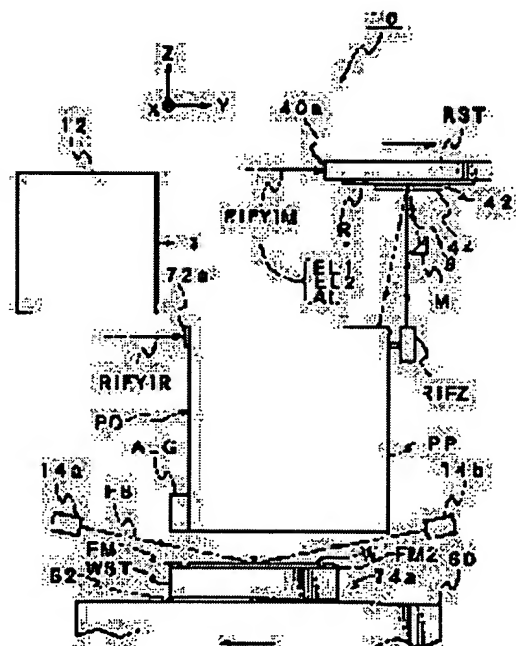
(72)Inventor : OTA KAZUYA
TANIMOTO SHOICHI
HAGIWARA TSUNEYUKI

(54) ALIGNER AND METHOD FOR ADJUSTING IT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an adjusting method for an aligner wherein an internal optical system is adjusted in a short time with high precision.

SOLUTION: A laser plasma light source in a light source device 12 generates an EUV(extreme ultraviolet) light EL1 as an exposure light, an ultraviolet light EL2 as a non-exposure light, and a visible light AL as a non-exposure light, and a wavelength selecting device in the light source device 12 allows an reticule R to be irradiated with either the EUV light EL1, the ultraviolet light EL2, or the visible light AL through a mirror M, with the light from the reticule R guided on a wafer W through a projection optical system PO of reduction projection type comprising a reflective system. A lighting system comprising a part of the optical member in the light source device 12 and the mirror M and the projection optical system PO are rough-adjusted using the visible light AL or the ultraviolet light EL2, and the lighting system and the projection optical system PO are final-adjusted using the EUV light EL1.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-100697

(P2000-100697A)

(43) 公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	キーワード(参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 B 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
			5 1 8

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平10-283197

(22) 出願日 平成10年9月22日(1998.9.22)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 谷元 昭一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

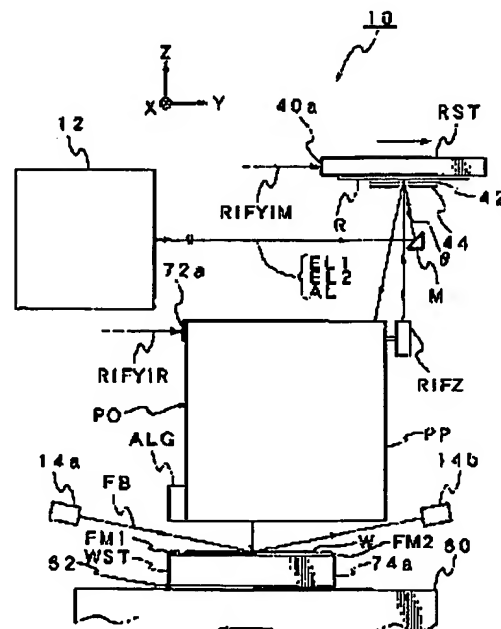
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置の調整方法及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 内部の光学系の調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる露光装置の調整方法を提供する。

【解決手段】 光源装置12内のレーザプラズマ光源で露光光としてのEUV光E L1、非露光光としての紫外光E L2、及び非露光光としての可視光A Lを発生させて、光源装置12内の波長選択装置によってEUV光E L1、紫外光E L2、又は可視光A Lの何れかをミラーMを介してレチクルRに照射し、レチクルRからの光を反射系よりなる縮小投影型の投影光学系POを介してウエハW上に導く。光源装置12内の一部の光学部材とミラーMとを含む照明系、及び投影光学系POの粗調整を可視光A L、又は紫外光E L2を用いて行い、照明系、及び投影光学系POの最終調整をEUV光E L1を用いて行う。



(2)

特開2000-100697

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 露光用の照明光を発生する露光光源と、
該露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを
備え、前記照明光のもとで前記マスクのパターンを基板
上に転写する露光装置の調整方法であって、
前記露光光源として前記露光用の照明光、及び該照明光
と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源
を使用し、
前記照明系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際
に、前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光
を使用することを特徴とする露光装置の調整方法。

【請求項2】 露光用の照明光を発生する露光光源と、
該露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系とを
備え、前記照明光のもとで前記マスクのパターンを基板
上に転写する露光装置の調整方法であって、
前記露光光源として前記露光用の照明光、及び該照明光
と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源
を使用し、

前記照明系中の少なくとも一部の光学系の粗調整を行う
際に、前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の
光を使用し、

前記照明系の最終的な調整を行う際に、前記広帯域光源
から射出される前記露光用の照明光を使用することを特
徴とする露光装置の調整方法。

【請求項3】 前記露光装置は、前記マスクからの照明
光を集光して前記マスクのパターンの像を前記基板上に
投射する反射系よりなる投影系を備え、

前記照明系及び前記投影系中の少なくとも一部の光学系
の調整を行う際に、前記広帯域光源から射出される前記
非露光波長の光を使用することを特徴とする請求項1、
又は2記載の露光装置の調整方法。

【請求項4】 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光
として極端紫外域の波長の光を発生し、前記非露光波長
の光として紫外域又は可視域の少なくとも一方の波長の
光を発生すると共に、

前記照明系は反射系であることを特徴とする請求項1、
2、又は3記載の露光装置の調整方法。

【請求項5】 露光用の照明光を発生する露光光源と、
前記照明光をマスクに照射する照明系と、前記マスクの
パターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露光装
置の調整方法であって、
前記露光光源として前記露光用の照明光、及び該照明光
と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源
を使用し、

前記投影系の少なくとも一部の光学系を調整する際に、
前記広帯域光源から射出される前記非露光波長の光を使
用することを特徴とする露光装置の調整方法。

【請求項6】 前記非露光波長の光を用いた前記光学系
の調整後、前記広帯域光源から射出される前記露光用の
照明光を用いて前記投影系の再調整を行うことを特徴と
する請求項5記載の露光装置の調整方法。

する請求項5記載の露光装置の調整方法。

【請求項7】 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光
として極端紫外域の波長の光を発生し、前記非露光波長
の光として紫外域及び可視域の少なくとも一方の波長域
の光を発生するとともに、

前記投影系は反射系であることを特徴とする請求項5又
は6記載の露光装置の調整方法。

【請求項8】 前記広帯域光源はレーザプラズマ光源で
あり、前記露光用の照明光は波長5～20nmの極端紫
外光であることを特徴とする請求項4又は7記載の露光
装置の調整方法。

【請求項9】 前記非露光波長の光を用いて前記光学系
の調整を行う際には、該非露光波長の光の光路に所定の
気体を供給し、

前記露光用の照明光を用いて露光又は調整を行う際
には、該露光用の照明光の光路を真質的に真空にすること
を特徴とする請求項4、7、又は8記載の露光装置の調
整方法。

【請求項10】 露光用の照明光を発生する露光光源
と、該露光光源からの照明光をマスクに照射する照明系
とを備え、前記マスクのパターンを基板上に転写する露
光装置であって、

前記露光光源として前記露光用の照明光、及び該照明光
と波長域の異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源
を備え、
前記照明系中の少なくとも一部の光学系を通過した前記
非露光波長の光を検出する光電検出器を設けたことを特
徴とする露光装置。

【請求項11】 前記マスクからの照明光を集光して前
記マスクのパターンの像を前記基板上に投射する投影系
を備え、
前記光電検出器は、前記照明系を通過した後、前記投影
系中の少なくとも一部の光学系を通過した前記非露光波
長の光を検出することを特徴とする請求項10記載の露
光装置。

【請求項12】 露光用の照明光を発生する露光光源
と、前記照明光をマスクに照射する照明系と、前記マス
クのパターン像を基板上に投射する投影系とを備えた露
光装置であって、

前記露光光源として前記露光用の照明光、及び該照明光
と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源
を備え、
前記投影系の少なくとも一部を通過する前記非露光波長
の光を検出する光検出器を設けたことを特徴とする露光
装置。

【請求項13】 前記照明系及び前記投影系はそれぞれ
反射系より構成され、
前記マスク及び前記基板を同期して所定方向に移動する
ステージ系が備えられ、

前記マスクのパターンの像を前記基板上に転写する際

(3)

特開2000-100697

3

に、前記ステージ系を駆動して前記マスク及び前記基板を前記投影系に対して同期走査することを特徴とする請求項11又は12記載の露光装置。

【請求項14】 前記広帯域光源は、前記露光用の照明光として極端紫外域の波長の光を発生し、前記非露光波長の光として紫外域又は可視域の少なくとも一方の波長の光を発生すると共に、

前記広帯域光源からの前記非露光波長の光を使用する際には、該光の光路に所定の気体が供給され、

前記広帯域光源からの前記露光用の照明光を使用する際には、該照明光の光路が実質的に真空にされることを特徴とする請求項10～13の何れか一項記載の露光装置。

【請求項15】 前記広帯域光源から射出された前記露光用の照明光、及び前記非露光波長の光の何れかを前記照明系側に通過させる波長選択装置を設けたことを特徴とする請求項10～14の何れか一項記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、又は液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置の調整方法に関し、特に露光用の照明光として軟X線の様な極端紫外光（Extreme Ultra Violet 光：EUV光）を使用する露光装置に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを基板としてのレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するために、ステッパー等の縮小投影型の露光装置、又はレチクルのパターンを直接ウエハ上に転写するプロキシミティ方式の露光装置等の各種の露光装置が使用されている。斯かる露光装置では、従来は露光用の照明光（露光光）として水銀ランプのi線（波長365nm）やKrFエキシマレーザ光（波長248nm）のような紫外光が使用されていた。最近ではより高い解像度を得るために、露光光としてArFエキシマレーザ光（波長193nm）やF₂レーザ光（波長157nm）のような真空中紫外光（VUV光）を使用する露光装置の開発も行われている。また、従来のこれらの露光装置の照明系や投影光学系としては、屈折系、又は反射屈折系が使用されていた。

【0003】このように露光光として紫外光を使用する場合には、照明系や投影光学系の粗調整を、最初の粗調整から最終調整まで露光光を使用して行うのは効率が悪い。そこで、従来は紫外光よりなる露光光を発生する露光光源とは別に、He-Neレーザ等の可視光を発生する調整用の光源を使用して、この調整用の光源からの可視光を用いてコリメータ方式、又は干渉計方式等で照

4

明系や投影光学系の粗調整を行っていた。そして、粗調整を行った後、露光光を用いてそれらの光学系の最終調整を行っていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来は露光光源とは別に調整用の光源を設け、調整用の光源からの可視光を用いて照明系や投影光学系の粗調整を行っていた。この場合、例えば照明系中にその調整用の可視光を露光光とはほぼ同軸となるように導くミラー等を配置する必要があり、露光光源及び照明系を含めた調整を行うことはできなかった。そのため、粗調整の精度を高めることが困難であり、露光光を用いた最終調整に要する時間が長くなり、結果として粗立調整に要する時間が長くなるという不都合があった。更に、露光装置ではメンテナンス等を行うために、定期的に照明系や投影光学系の調整を行う必要があるが、従来はこのような定期的な調整時に粗調整を行うためには、例えば照明系中に調整用の可視光を導くミラーを配置する必要があったため、調整作業が複雑で、かつ長い時間を要していた。

【0005】また、従来は照明系や投影光学系は屈折系、又は反射屈折系であり、露光光と調整用の可視光とは波長が大きく異なっていたため、調整用の可視光を使用した粗調整時には照明系や投影光学系で色収差が発生していた。この色収差のために、粗調整の誤差が大きくなり、更に最終調整時の時間が長くなっていた。特に、今後はより微細な半導体素子等を製造するために、露光光として波長が100nm程度以下の極端紫外光（EUV光）を使用した露光装置の開発も行われつつある。このように露光光としてEUV光をする場合には、露光光源が大型化するため、露光光源を含めた形で効率的に照明系や投影光学系の調整を行うことができる調整方法が求められている。

【0006】本発明は斯かる点に鑑み、内部の光学系の調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる露光装置の調整方法を提供することを第1の目的とする。更に本発明は、露光光としてEUV光を使用する露光装置において、効率的に内部の光学系の調整を行うことができる露光装置の調整方法を提供することを第2の目的とする。

【0007】また、本発明はその調整方法を実施できる露光装置を提供することをも目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光装置の調整方法は、露光用の照明光（E1）を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスク（R）に照射する照明系とを備え、その照明光のもとでそのマスクのパターンを基板（W）上に転写する露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光（E1）、及びこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光（A1）を発生する広帯域光源（16）

(4)

特開2000-100697

5

6

を使用し、その照明系（PRM、IM、42、44、M）中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光（AL）を使用するものである。

【0009】斯かる本発明によれば、その一部の光学系の調整を行う際にはその広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用することによって、別途計測用の光源を用いることなく短時間にその光学系の調整を行うことができる。また、その非露光波長の光はその露光用の照明光とはほぼ同じ位置から射出される（ほぼ同軸に射出される）ため、その光学系の調整を実際の露光時と同様に高精度に行うことができる。

【0010】また、本発明による第2の露光装置の調整方法は、露光用の照明光（EL1）を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスク（R）に照射する照明系とを備え、その照明光のもとでそのマスクのパターンを基板（W）上に転写する露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光、及びこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光（AL）を発生する広帯域光源（16）を使用し、その照明系（PRM、IM、42、44、M）中の少なくとも一部の光学系の粗調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光（AL）を使用し、その照明系の最終的な調整を行う際に、その広帯域光源から射出されるその露光用の照明光（EL1）を使用するものである。

【0011】斯かる第2の露光装置の調整方法によっても、別途計測用の光源を用いることなく短時間に、高精度にその光学系の粗調整を行うことができる。従って、調整誤差が小さくなっているため、その露光用の照明光を用いるその光学系の最終的な調整を短時間に行うことができる。これらの場合において、その露光装置は、そのマスクからの照明光を露光してそのマスクのパターンの像をその基板上に投射する反射系よりなる投影系（PO）を備え、その照明系及びその投影系中の少なくとも一部の光学系の調整を行う際に、その広帯域光源（16）から射出されるその非露光波長の光を使用することが望ましい。その投影系が反射系である場合には、色収差が無いため、その非露光波長の光を用いても高精度に調整が行われる。

【0012】次に、本発明の第3の露光装置の調整方法は、露光用の照明光（EL1）を発生する露光光源と、その照明光をマスク（R）に照射する照明系と、そのマスクのパターン像を基板（W）上に投射する投影系（PO）とを備えた露光装置の調整方法であって、その露光光源としてその露光用の照明光、及びこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源を使用し、その投影系の少なくとも一部の光学系を調整する際に、その広帯域光源から射出されるその非露光波長の光を使用するものであり、この発明によっても短時間に光

学系の調整が行われる。

【0013】その投影系の調整を行う際に用いる評価方法としては、像面でポイント像や周期パターンの空間像を観察してもよいし、ポイント像を像面からデフォーカスした位置で観察することで、投影系の波面収差を測定することもできる。その他どのような観測方法であってもよい。また、その広帯域光源は、一例としてその露光用の照明光として極端紫外域の波長（波長が約100～1nm程度）の光を発生し、その非露光波長の光として紫外域（波長が400～100nm程度）又は可視域（波長が800～400nm程度）の少なくとも一方の波長の光を発生すると共に、その照明系（IM、M）は反射系であることが望ましい。その照明系が反射系である場合には、色収差が無いため、その非露光波長の光を用いても高精度に調整が行われる。また、その非露光波長の光が紫外光である場合には、フォトダイオード等の簡単な構造の検出器で容易に検出できるため、光学調整機構が安価になる。一方、その非露光波長の光が可視光である場合には、作業者が目視できるため、光学調整を容易に行うことができる。

【0014】更に、その広帯域光源の一例はレーザプラズマ光源であり、その露光用の照明光は波長5～20nmの極端紫外光（EUV光）であることが望ましい。レーザプラズマ光源は、銅（Cu）のテープ、水滴、氷滴、キセノンガス（Xe）、又はクリプトンガス（Kr）等のターゲットに対して非常に強力なレーザ光線を照射することにより、そのターゲットを高温のプラズマ状態にし、それが冷える際に種々の波長の光を放出する光源である。そして、露光に用いる波長5～20nm程度のEUV光は、ターゲットに照射される光のエネルギーの約1～2%と言われており、残りの98～99%は他の波長の光となって放出される。

【0015】その他の波長の光の中には、露光用の照明光と非常に近い波長の光もあり、それらは特定の波長（例えば5～20nm）の光のみを反射するように設計された多層膜反射ミラーによって、反射されることなく吸収されて熱に変わってしまうが、可視光や可視光に近い紫外光は、その多層膜の最上層の物質、例えばモリブデン（Mo）、ベリリウム（Be）、又はケイ素（Si）等によって反射されて、照明系、更には投影系まで達することができる。従って、レーザプラズマ光源であれば、その露光用の照明光と非露光波長の光とをほぼ完全に同軸で放出できるため、本発明の露光光源として好適である。

【0016】また、その非露光波長の光を用いてその光学系の調整を行う際には、この非露光波長の光の光路に所定の気体（例えば空気）を供給し、その露光用の照明光を用いて露光又は調整を行う際には、この露光用の照明光の光路を実質的に真空にすることが望ましい。その非露光波長の光が可視光、又は可視光に近い紫外光であ

(5)

特開2000-100697

7

8

る場合には、その光路に空気等を供給しても殆ど吸収されないと共に、調整作業が容易になる。一方、その露光用の照明光がEUV光である場合には、その光路をほぼ真空にしないと吸収が大きくなってしまふ。

【0017】次に、本発明による第1の露光装置は、露光用の照明光(EL1)を発生する露光光源と、この露光光源からの照明光をマスク(R)に照射する照明系とを備え、そのマスクのパターンを基板(W)上に転写する露光装置であって、その露光光源としてその露光用の照明光、及びこの照明光と波長域の異なる非露光波長の光(AL)を発生する広帯域光源(16)を備え、その照明系(PRM, IM, 42, 44, M)中の少なくとも一部の光学系を通過したその非露光波長の光を検出する光電検出器(82, 86)を設けたものである。この光電検出器の検出信号を用いることで、本発明の第1、又は第2の露光装置の調整方法が実施できる。

【0018】次に本発明による第2の露光装置は、露光用の照明光を発生する露光光源と、その照明光をマスク(R)に照射する照明系と、そのマスクのパターン像を基板(W)上に投射する投影系(PO)とを備えた露光装置であって、その露光光源としてその露光用の照明光、及びこの照明光と波長域が異なる非露光波長の光を発生する広帯域光源(16)を備え、その投影系の少なくとも一部を通過するその非露光波長の光を検出する光電検出器(86)を設けたものであり、この発明によって本発明の第3の露光装置の調整方法が使用できる。

【0019】これらの場合、そのマスクからの照明光を集光してそのマスクのパターンの像をその基板上に投射する投影系(PO)を備え、その照明系及びその投影系をそれぞれ反射系より構成し、そのマスク及びその基板を同期して所定方向に移動するステージ系(RST, WST)を備え、そのマスクのパターンの像をその基板上に転写する際に、そのステージ系を駆動してそのマスク及びその基板をその投影系に対して同期走査することが望ましい。その投影系を反射系とした場合には、色収差が無くする半面で、良好に結像できる領域が円環状になる。そこで、ステップ・アンド・スキャン方式のような定走露光方式にすることによって、その基板上の広いショット領域に露光を行うことができる。

【0020】また、その広帯域光源(16)から射出されたその露光用の照明光、及びその非露光波長の光の何れかをその照明系側に通過させる波長選択装置(30)を設けることが望ましい。更に、その広帯域光源から射出される光の中でその露光用の照明光がEUV光である場合には、その広帯域光源から射出されるより波長の長い、例えば100~300nm程度の光を用いて比較的要求精度が低いラフレイヤへの露光を行うようにして、そのEUV光を用いて最も高い精度が要求されるクリティカルレイヤへの露光を行うようにしてもよい、これによって、その露光装置を種々の用途に広く利用すること

ができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。図1は、本例の露光装置10の全体構成を概略的に示し、この図1において、露光装置10は、露光用の照明光(露光光)として波長5~20nmの軟X線領域の極端紫外光(EUV光)EL1を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により定走露光動作を行う縮小投影型の露光装置である。本例では、後述するように、マスクとしてのレチクルRからの反射光束の主光軸をウエハ(wafer)W上に実質的に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへのEUV光EL1の主光軸の投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶと共に、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1の紙面内の左右方向をY軸方向、その紙面に直交する方向をX軸方向として説明する。

【0022】露光装置10は、反射型のレチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向(ここではY軸方向)に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの縮小像の全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップ・アンド・スキャン方式で転写する。

【0023】露光装置10は、露光光源としての広帯域光源を含む光源装置12を備えており、この光源装置12は、露光光としてのEUV光EL1の他に、波長が100~400nm程度の紫外光EL2、及び波長が400~700nm程度の可視光ALをも射出する。紫外光EL2、及び可視光ALが非露光波長の光に対応している。EUV光EL1、紫外光EL2及び可視光ALは、光源装置12内の同じ位置から(同軸で)Y方向に沿って水平に射出されている。そして、露光装置10は、光源装置12からのEUV光EL1等を反射して所定の入射角 θ (θ はここでは約50mradとする)で、レチクルRのパターン面(図1における下面)に入射するように折り曲げる折り返しミラーM(照明系の一部)、レチクルRを保持するマスクステージとしてのレチクルステージRST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光EL1等をウエハWの被露光面に対して投射する反射系からなる投影光学系PO、ウエハWを保持する基板ステージとしてウエハステージWST、フォーカスセンサ(14a, 14b)、及びマーク検出系としてのアライメント光学系ALG等を備えている。

【0024】光源装置12は、図2に示されるように、露光光源としての広帯域のレーザプラズマ光源16と、照明系の一部(PRM, IM)とから構成される。レーザプラズマ光源16は、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ光源2

9

(1)と、この高出力レーザ光源20からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ22と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質24とを備えている。

【0025】ここで、EUV光の発生のおきについて簡単に説明すると、高出力レーザ光源20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に遷移する際に露光光としてのEUV光EL1、紫外光EL2、可視光AL、及び他の波長の光を放出する。

【0026】このようにして発生したEUV光EL1等は全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光EL1等は集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。また、そのEUV光反射層では、波長が100nm程度以上の紫外光EL2、及び可視光ALも同時に反射される。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siとを交互に数十層コーティングすると波長約13nmのEUV光を選択的に反射することが知られている。また、モリブデンMoとベリリウムBeとを交互に数十層コーティングすると波長約11nmのEUV光が選択的に反射される。

【0027】EUV光発生物質24から発生するEUV光の中で、反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装置26が必要となるのである。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光EL1、紫外光EL2、及び可視光ALは、それぞれその光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一様な平行光である。

【0028】光源装置12内には、更に、上記の平行光に変換されたEUV光EL1等を反射して図1の折り返しミラーMの方向に向けて偏向する照明ミラーIMと、この照明ミラーIMに対してEUV光EL1等の進行方向後方側（図2における紙面右側）に配置された波長選択装置30とが設けられている。波長選択装置30は、照明ミラーIMからの光の光路に交互に配置される光学フィルタ30a、30bと、EUV光選択板30c（不図示）と、後述の主制御装置80からの指令によって光

(6)

特開2000-100697

10

学フィルタ30a、30b、又はEUV光選択板30cを選択的にその光路上に配置する駆動モータ30dとを備えている。光学フィルタ30aは、照明ミラーIMからの光の中で可視光ALのみを通過させ、光学フィルタ30bはその光の中で紫外光EL2のみを通過させる。光学フィルタ30a、30bは例えばガラス基板に対応する波長用の干渉フィルタを形成したものである。

【0029】更に、EUV光選択板30cは、紫外光EL2、及び可視光ALをカットしてEUV光EL1のみを通過させる目的で設けられている。これは、多層膜からなるEUV反射膜は、EUV光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光等も同様に反射してしまう。これを露光時にレチクルRや投影光学系POに導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー（これらについては後述する）が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招く恐れもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

【0030】照明ミラーIMは、図2に示されるように、EUV光EL1等が照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、2種類の物質を交互に積層（例えば、モリブデンMoと珪素Siとを数十層コーティング）した多層膜からなる反射層が形成され、この反射層で反射されたEUV光EL1、紫外光EL2、及び可視光ALがそれぞれレチクルR上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

【0031】図2の紙面内上下方向がレチクルRのパターン面を照明する後述する所定面積を有する円弧状の照明領域IA（リング上照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域）の長手方向に直交する方向に対応し、レチクルRのパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、EUV光EL1等の発光源が有限の大きさを持つため、レチクルRのパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上ではEUV光EL1等は1mmから10mm程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということはない。照明ミラーIMの反射面の裏面側には、前述した冷却装置26と同様の冷却装置28が備えられている。

【0032】図3には、図2に示される光源装置12を-Y方向側（図2における左側）から見た状態が示されている。この図3においては、紙面の奥側に図1の折り返しミラーMがある。照明ミラーIMの反射面は図3には表れていないが、その反射面は図3の紙面奥側から見た場合に長方形状をしている。即ち、図2では凹曲面、この左側面図である図3では長方形であるから、照明ミラーIMの反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV光EL1等は、図2の紙面内では収束されるが、図3の紙面内では

(7)

特開2000-100697

11

平行光のままであるから、図3中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーが0と言うわけではない。

【0033】図1に戻り、レチクルステージRSTは、図1では図示省略されているが、実際には図4に示されるように、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34によって該レチクルステージベース32上に浮上支持されている。レチクルステージRSTは、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されると共に、X方向及びθ方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、レチクルステージRSTは、その2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0034】レチクルステージRSTの周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース32上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、後述する主制御装置80によってコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0035】レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側（上面側）に設けられ該レチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部35とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光EL1を露光光として用いる関係から、本例の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に収容されており、真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミック等、従来の遠紫外光を露光光とするDUV露光装置で使用されている物で差し支えない。

【0036】レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ヘルメクス子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱

12

交換器を用いる方式等が採用できる。

【0037】また、本例のレチクルステージRSTの底面のレチクルRに対して走査方向（Y方向）に離れた位置に、走査方向に直交する非走査方向（X方向）に細長い一列の回素よりなる受光部82a（図5参照）を有し、可視光ALに感度を持つ1次元の撮像素子82が配置され、撮像素子82の撮像信号が主制御装置80に供給されている。撮像素子82の受光面の高さはレチクルRのパターン面の高さと同じに設定されている。更に、図6に示すように、レチクルステージRSTの底面のレチクルRに対してY方向に離れた位置に、そのパターン面と同じ高さで可視光ALを反射する点状の反射鏡83aが形成された基準部材83が固定されている。点状の反射鏡83aは、光学系の調整時に可視光ALの点光源として使用される。

【0038】図4に戻り、レチクルステージRSTの-Y方向側の側面には、鏡面加工が施され、可視領域の光を反射する反射面40aが形成されている。図4では図示が省略されているが、レチクルステージRSTの-X方向側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面が形成されている。そして、この露光装置10では、従来のDUV光露の露光装置と同様に、前記反射面40a等に測定ビームを照射する干渉計システムによってレチクルステージRSTのXY面内の位置が管理されている。

【0039】レチクルRの表面（パターン面）には、EUV光EL1を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば2種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siとの多層膜を用いて波長13nmのEUV光に対して反射率約70%の反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パターンニングすることによってレチクルR上の原版パターンが形成されている。多層膜のような反射物体をパターンニングすると失敗したときの修復が不可能であるのに対し、吸収層（吸収膜）を設けてパターンニングする方法ではやり直しが可能になるので、パターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本例では、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層（反射膜）と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。このほか、この吸収層形成材料の選択の基準としてパターンニングのし易さ、反射層への密着性、酸化等による経年変化が小さい等が挙げられる。

【0040】図5には、レチクルRの一例が示されている。図5中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光光であるEUV光EL1が照射される円弧状の照明領域IAであ

(8)

特開2000-100697

13

る。ここで、円弧状の照明領域I Aを用いて露光を行うのは、後述する投影光学系POの諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクルRのパターン領域PAのX方向両端部には、Y方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマークRM1～RM6が形成されている。レチクルアライメントマークRM1とRM4と、RM2とRM5と、RM3とRM6とは、それぞれほぼX方向に沿って配置されている。図5から明らかなように、円弧状の照明領域I Aを用いる場合には一括露光（静止露光）は不可能であるため、本例では後述するようにして走査露光が行われる。

【0041】レチクルRは、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクルRそのものの素材は特に問わない。レチクルRの素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス、セラミックス、シリコンウエハ等が考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダRHの素材と同一の素材をレチクルRの素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光光の照射等による温度上昇に起因してレチクルRやレチクルホルダRHに熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力（熱応力）が働かないという利点がある。これに限らず、異なる物質であっても同じ熱膨張率を持った物質をレチクルRとレチクルホルダRHとの素材として用いれば、同じ効果を得られる。例えば、レチクルRにシリコンウエハ、レチクルホルダRHに炭化珪素（SiC）を用いることが考えられる。レチクルRの素材としてシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置等のプロセス装置等がそ

のまま使用できるという利点もある。本例では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダをSiCによって形成している。

【0042】図1に戻り、レチクルRの下（EUV光EL1等の入射側）には可動式ブラインド42、視野絞りとしてのスリット板44とがレチクルRに近接して配置されている。より具体的には、これら可動式ブラインド42、スリット板44は、裏面には、図4に示されるようにレチクルステージベース32の内部に配置されて

いる。

【0043】図4において、スリット板44は、円弧状の照明領域I A（図5参照）を規定するもので、投影光学系POに対して固定されていても勿論よいが、本例においては、このスリット板44は、モータ等を含む切替機構としての駆動機構46によって駆動可能に構成されている。スリット板44には、露光光としてのEUV光EL1が照射されるレチクルR上の円弧状の照明領域I Aを規定する第1スリットと、図5のレチクルRのパターン領域PAの両側に形成されたアライメントマークRM1とRM4と（あるいは、RM2とRM5と、又はR

14

M3とRM6と）の部分を含む照明領域を規定する第2スリットとを有する。駆動機構46は、後述する主制御装置80（図8参照）からの指示に従って、露光時には、スリット板44を、照明領域I Aが照射されるように切り替え、レチクルRの位置合わせ（アライメント）時には、スリット板44を、EUV光EL1が上記のアライメントマークを含む領域に照射されるように切り替えるようになっている。

【0044】図4において、可動式ブラインド42は、同一レチクルR内に描かれた冗長回路パターンをウエハWに転写したくない場合、その冗長回路部分が照明領域I A内に含まれるのを防止するためのもので、本例では、後述する主制御装置80からの指示に応じ、駆動機構46によってレチクルステージRSTのY方向の移動と同期してそのY方向の移動が制御されるようになっている。この場合において、可動式ブラインド42の始動は、レチクルRが走査し始めてからレチクルRと同じように走査し始めてもよいし、目標の隠すべきパターンが差し掛かるのに合わせて動き始めてもよい。

【0045】図1に戻り、投影光学系POとしては、前記の如く、反射光学素子（ミラー）のみからなる反射系が使用されており、ここでは、投影倍率1/4倍の光学系が使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むEUV光EL1は、投影光学系POによって4分の1に縮小されてウエハW上に照射される。

【0046】ここで、投影光学系POについて図6を用いてより詳細に説明する。この図6において、投影光学系POは、レチクルRで反射されたEUV光EL1、紫外光EL2、及び可視光ALを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー（反射光学素子）と、これらのミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値（標準偏差）で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光EL1に対する反射層が形成されている。

【0047】この場合、図6に示されるように、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には貫通穴が設けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるように第1ミラーM1にも貫通穴が設けられている。もちろん、貫通穴を設けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としてもよ

15

い、

【0048】EUV光EL1を用いて露光を行う場合には、投影光学系POが置かれている環境も真空であるため、露光光の照射による熱の逃げ場がない。そこで、本例では、ミラーM1～M4と当該ミラーM1～M4を保持する鏡筒PPとの間をヒートパイプHPで連結すると共に、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。即ち、鏡筒PPを内側のミラー保持部50と、その外周部に装着された冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷却装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内のパイプ58に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0049】このため、本例の投影光学系POでは、露光光としてのEUV光EL1の照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、本例では、図6に示されるように、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側（反射面側）の露光光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第3ミラーM3の裏面側や第1ミラーM1の表面側のヒートパイプHPは、図6の紙面の奥行き方向において鏡筒PPの内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒PPの外観は、四角柱状をしている。

【0050】図1に戻り、ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62によって該ウエハステージベース60上に浮上支持されている。このウエハステージWSTは、その2次元リニアアクチュエータ62によってX方向及びY方向に所定ストロークで駆動されると共に、 θ 方向（Z軸回りの回転方向）にも微小駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0051】ウエハステージWSTの底面には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース60上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル（図示省略）とによってその磁気浮上型の2

(9)

特開2000-100697

16

次元リニアアクチュエータ62が構成されており、後述する主制御装置80によりそのコイルに流す電流を制御することによってウエハステージWSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0052】ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、このウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージWSTの図1における+Y方向側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光を反射する反射面74aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、ウエハステージWSTの-X方向側の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面が形成されている。そして、この露光装置10では、反射面74a等に測定ビームを照射する干渉計システムによって投影光学系POに対するその位置が正確に測定されるようになっている。

【0053】ウエハステージWSTの上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系ALGの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うためのEUV光EL1用の空間像計測器FM1が設けられている（図1参照）。この空間像計測器FM1は、従来のDUV露光装置の基準マーク板に相当するものである。また、ウエハステージWST上のウエハWの近傍には、可視光AL用の空間像計測器FM2も配置されている。

【0054】図7（A）、（B）には、EUV光EL1用の空間像計測器FM1の平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器FM1の上面には、開口としてのスリットSLT1、SLT2が形成されている。これらのスリットSLT1、SLT2は、ウエハステージWSTの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質63の表面に形成されたEUV光の反射層64にパターンニングされたものである。なお、反射層64に代えてEUV光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

【0055】前記スリットSLT1、SLT2の下方のウエハステージWSTの上面板には、開口66a、66bがそれぞれ形成されており、これらの開口66a、66bに対向するウエハステージWSTの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子PMがそれぞれ配置されている。従って、投影光学系POを介して上方から空間像計測器FM1にEUV光EL1が照射されると、スリットSLT1、SLT2を透過したEUV光が蛍光発生物質63に到達し、該蛍光発生物質63がEUV光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子PMによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子PMの出力信号も主制御装置80に供給されるようになっている。ここで、スリットSLT1、SLT2の位置関係は、レチクルR上に

(10)

特開2000-100697

17

X方向に沿って配置された図5のレチクルアライメントマークRM1とRM4（RM2とRM5、あるいはRM3とRM6）との位置関係にはほぼ対応した関係となっており、後述するレチクルアライメントの際には、スリットSLT1、SLT2を介してレチクルアライメントマークRM1とRM4を同時計測できるようになっている。

【0056】次に、図6において、ウエハステージWSTの一部を切り欠いて示すように、可視光AL用の空間像計測器FM2は、その表面がウエハWの表面と同一になるようにウエハステージWSTの上板に固定された可視光を透過するガラス基板である。この空間像計測器FM2の底面に開口を介して結像レンズ85、及び可視光に感度を持つ2次元のCCD型の撮像素子86が配置され、空間像計測器FM2の表面に形成された可視光ALによる拡大像が結像レンズ85を介して撮像素子86の撮像素面に形成されるように構成されている。撮像素子86の撮像素号も主制御装置80に供給されている。

【0057】次に、本例の露光装置の位置計測システムにつき説明する。図1のレチクルステージRSTのX方向、Y方向、回転方向の位置は、上記のようにレーザ干渉計によって計測されている。この場合、投影光学系POの側面に設けられた参照鏡72aに供給されるレーザビームRIFY1Rと、レチクルステージRSTの側面40aに供給されるレーザビームRIFY1Mとによって、投影光学系POの位置を基準としてレチクルステージRSTのY座標が計測され、同様に投影光学系POの位置を基準としてレチクルステージRSTのX座標、及び回転角が計測されている。同様に、ウエハステージWSTのX方向、Y方向、回転方向の位置も、レーザ干渉計によって投影光学系POの位置を基準として計測されている。これらのレチクルステージRST用のレーザ干渉計、及びウエハステージWST用のレーザ干渉計が図8の干渉計システム70を構成しており、干渉計システム70の計測値が主制御装置80に供給されている。

【0058】更に、図1において、上記の干渉計システムの全ての計測の基準となる投影光学系POの鏡筒PPには、レチクルRのZ方向の位置を計測するレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZが設けられている。このレーザ干渉計RIFZは、実際には、同一構成の干渉計が鏡筒PPの周囲の3箇所所定間隔で固定されているが、図1では、これらが代表的にレーザ干渉計RIFZとして示されている。

【0059】これらのレーザ干渉計RIFZからの測定ビームは、折り返しミラーMを介して所定の入射角 θ でレチクルRのパターン面に投射されるEUV光EL1等の照射領域、即ち円弧状の照明領域IA内の異なる3点にEUV光EL1等の入射光路と出射光路（反射光路）との中心に位置するZ方向の光路を通過してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている（図1及び図

18

4参照）。このため、レーザ干渉計RIFZは、レチクルRのパターン面に所定の入射角 θ で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射されるEUV光EL1等に影響を及ぼすことなく、かつEUV光EL1等によって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

【0060】レーザ干渉計RIFZとしては、ここでは、本体に不図示の参照鏡が内蔵された参照鏡内蔵タイプのものが用いられ、その参照鏡の位置を基準としてレチクルR上の測定ビームの照射位置のZ方向位置を、それぞれ計測する。この場合、図5に示される照射領域IA内の点P1、点P2、及び点P3の位置にそれぞれ第1～第3のレーザ干渉計RIFZからの測定ビームが投射されるようになっている。点P2は、照明領域IAの中心、即ちパターン領域PAのX方向の中心軸上の点でかつ照明領域IAのY方向の中心点であり、点P1、P3は前記中心軸に関して対称の位置にある。

【0061】図8に示すように、これら3軸のレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZの計測値も、主制御装置80に輸入されるようになっており、主制御装置80ではこれら3軸の計測値に基づいて磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRST、即ちレチクルRのZ位置及び傾斜角を補正するようになっている。

【0062】一方、図1の鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光式のフォーカスセンサ（14a、14b）によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ（14a、14b）は、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平6-283403号公報等に開示される多点焦点位置検出系が用いられている。このフォーカスセンサ（14a、14b）は鏡筒PPと一体的に固定されることが重要である。このフォーカスセンサ（14a、14b）は図8ではフォーカスセンサ14として表されており、主制御装置80はそのフォーカスセンサ14の計測値に基づいて、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWST、即ちウエハWのZ位置及び傾斜角を補正するようになっている。

【0063】また、図8の主制御装置80はマイクロコンピュータ（又はワークステーション）によって構成され、記憶装置としてのメモリ（RAM）81が内蔵されている。本例では、主制御装置80及び磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62によって駆動装置が構成されている。次に、本例の露光装置の組立調整時の

(11)

特開2000-100697

19

動作の一例につき図9のフローチャートを参照して説明する。図1及び図2において、放物面鏡PRM、照明ミラーIM、折り返しミラーM、可動式ブラインド42、及びスリット板44より照明系が構成されている。即ち、本例の照明系は全部の光学素子がミラーよりなる反射系であり、同様に投影系としての投影光学系POも反射系である。従って、照明系、及び投影光学系POではEUV光EL1、紫外光EL2、又は可視光ALの何れの光に対しても色収差が生じないために、本例では可視光ALを用いて照明系、及び投影光学系POの組立調整時の粗調整を行う。ただし、可視光ALを用いた照明系及び投影光学系POの調整は、例えば本例の露光装置の定期的なメンテナンス時にも実行することができる。

【0064】そして、図1及び図2に示すように、露光光源としてのレーザプラズマ光源16、照明系、及び投影光学系POの組立がおおまかに行われた後に、図9のステップ101において、図2の波長選択装置30を介して光源装置12からの光の中で、可視光ALのみを折り返しミラーM側に通過させるようにする。その後、図1の露光装置の周囲に除塵され、湿度や湿度が所定の標準状態に設定されると共に、気圧が周囲の大気圧と等しい空気を供給する。そして、作業者は照明系、及び投影光学系POの位置関係の粗調整を行う。この際に、作業者はまず可視光ALを目視することによって、可視光ALがほぼ設計通りの光路を進むように、図2のレーザプラズマ光源16と照明系内の放物面鏡PRMとの位置関係や、放物面鏡PRMに対する照明ミラーIM、及び折り返しミラーMの位置関係等を調整する。このような調整に際しては、各ミラーの支持部材の調整や、各ミラーの姿勢等を変更するための座金の交換等を行うようにしてもよい。また、可動式ブラインド42、及びスリット板44等の調整も行う。これによって、レチクルステージRST上で図5の円弧状の照明領域IAに対応する領域にその可視光ALが照射されるようになる。

【0065】この後、図4において、レチクルステージRSTをY方向に低速で移動させることによって、図5において、撮像素子82の受光部82aが照明領域IAをY方向に横切るようにする。このように受光部82aが照明領域IAを横切る期間に、レチクルステージRSTのY座標に対応させて、撮像素子82の撮像信号を高いサンプリングレートで主制御装置80に取り込む。主制御装置80はその一連の撮像信号を処理して、図5において、照明領域IAの形状を計測する。この計測結果に基づいて作業者は、その照明領域IAが所定の幅Hの円弧状となるように、照明系やスリット板44の位置等の調整を行う。

【0066】次に、投影光学系POの粗調整を行うために、図6において、レチクルステージRSTをY方向に駆動して、可視光ALの照明領域内に点状の反射鏡83aを移動させる。これによって、ウエハステージWST

20

上にその点状の反射鏡83aの縮小像（点像）が投影光学系POを介して投影される。そこで、ウエハステージWSTを駆動することによって、その点像を含むように空間像計測器FM2を移動し、撮像素子86を介してその点像の拡大像を撮像する。そして、作業者はその拡大像が所望の状態になるように投影光学系POの各ミラーの位置の調整を行う。

【0067】なお、この際にウエハステージWSTをZ方向にも駆動してZ方向の複数の位置でその点像の拡大像を撮像し、これらの複数の拡大像の変化に基づいて投影光学系POの粗調整を行ってもよい。このようにデフォーカスさせて点像を観察することによって、例えば米国特許（USP）第4309602号明細書に開示されているように、投影光学系POの波面収差を知ることができる。

【0068】また、本例では点像の観察を行っているが、レチクルステージRST上に点状の反射鏡83aの代わりに周期的な反射パターンを形成しておき、この周期的な反射パターンの可視光ALによる像を観察するようにしてもよい。また、単に拡大像を観察する代わりに、ナイフエッジ等を用いて空間像計測を行うようにしてもよい。このように粗調整を行うに際しては、別途調整用の光源を用いる必要が無いため、粗調整を迅速に効率的に行うことができる。

【0069】このようにして照明系、及び投影光学系POの粗調整が終了した後、図9のステップ104に移行して、図2の波長選択装置30を用いて光源装置12からの光の中で、EUV光EL1のみを折り返しミラーM側に通過させるようにする。その後ステップ105で、その露光装置が収納されているチャンバを密閉して、その露光装置の周囲の空気を排気することによって、EUV光EL1の光路を所定のレベル以下の（EUV光EL1の減衰率が所定の値以下となるような）真空状態とする。それに続くステップ106において、作業者はそのチャンバの外部からその露光装置に例えばテストプリント等を行わせることによって、照明系及び投影光学系POの最終的な調整を行う。例えばレチクルステージRST及びウエハステージWSTを静止させた状態でのテストプリント、及び同ステージRST、WSTを同期走査した状態でのテストプリントによって、それぞれ所定の露光像が得られるように最終的な調整が行われる。また、光学調整時には、適宜そのチャンバ内に空気が供給される。

【0070】この際に本例では、照明系及び投影光学系POが共に反射系で色収差が無いと共に、光源装置12からの可視光ALは、EUV光EL1と同じ光路で射出されているため、ステップ103の粗調整の結果は、EUV光EL1を用いた場合の調整結果と等価である。従って、ステップ106の最終調整の開始時の調整誤差は僅かであるため、その最終調整を極めて短時間に行うこ

(12)

特開2000-100697

21

とができる。即ち、全体としての照明系、及び投影光学系P Oの組立調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる。

【0071】なお、上記の点像の観察等は、光源装置12からの紫外光E L2を用いて行うようにしてもよい。なお、上記の実施の形態では、露光装置上における光学系の調整にレーザブラズマ光源16からの紫外光又は可視光を用いたが、その光学系の調整を必ずしも露光装置上で行う必要はなく、所定の工具台上で調整を行うようにしてもよい。即ち、その工具台において可視光又は紫外光により照明系や投影光学系P Oの組調整を行い、その後露光光を用いて調整を行ってから露光装置に転載してもよいし、工具台上では可視光による調整だけにとどめて、露光装置に移してもよい。また、露光装置では、最初から露光光による調整をしてもよいし、可視光あるいは紫外光による再調整を行ってもよい。

【0072】次に、上述のようにして構成された本例に係る露光装置10による第2層目（セカンドレイヤ）以降の露光工程の動作について説明する。まず、図2の波長選択装置30を用いて、光源装置12からの光の中でEUV光E L1が選択されるが、レーザブラズマ光源16の発光はレチクルアライメント、又はウエハの露光開始までは行われない。そして、図1において、不図示のレチクル搬送系によりレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージR S TのレチクルホルダR Hに吸着保持される。また、不図示のウエハ搬送系及びウエハステージW S T上の不図示のウエハ受け渡し機構によって、EUV光E L1に対して感度のあるレジストが塗布されたウエハWがウエハステージW S T上に載置される。

【0073】次に、図8の主制御装置80ではウエハステージW S T上のウエハWの各ショット領域に付設されたウエハアライメントマークの内の予め定めたサンプル対象となっているウエハアライメントマーク（1つのショットについて1個又は複数）の位置検出を、ウエハステージW S Tを順次移動させつつ、アライメント光学系A L Gを用いて行う。このマーク位置の検出の際、主制御装置80ではウエハW表面の2位置をアライメント光学系A L Gの焦点位置に制御する。そして、サンプルショットのウエハアライメントマークの位置検出が終了すると、主制御装置80では、それらのデータを用いて例えば特開昭61-44429号公報に開示される最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の配列座標を求める（以下、このアライメント手法を「EGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）」と呼ぶ）。あるいは、主制御装置80では、上記のショット内の複数のウエハアライメントマークの位置検出データを用いて例えば特開平6-275496号公報に開示される最小2乗法を利用した統計学的手法を用いてウエハW上の全てのショット領域の配列座

22

標及び各ショットの倍率を含む変形量を求める（以下、このアライメント手法を「ショット内多点EGA」と呼ぶ）。

【0074】このようにして、アライメント計測が終了すると、上記のEGAの結果より分かるショット間隔、あるいは上記のショット内多点EGAの結果より分かるショットサイズに基づいて、ショットの倍率変化（X、Yスケーリング）を計算し、その倍率変化量に応じてレチクルパターン像のX方向（第2方向）の大きさを正確にウエハW上のショット領域の大きさに一致させるための投影倍率の制御量、即ちレチクルRの2方向駆動量を算出し、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルRを前記算出した量だけ2方向（上下方向）に駆動する。例えば、所定の倍率より10ppm拡大する場合、レチクルRを40μmだけ投影光学系P Oから離れる方向に駆動する。

【0075】上記のレチクルRの2駆動により、投影倍率の変動及びレチクルパターン像の投影領域の位置ずれが生ずるため、主制御装置80では、次のようにしてベースライン計測、及び投影倍率の計測を行う。主制御装置80では図4の駆動機構46を介してスリット板44を露光用照明光E Lがアライメントマークを照射可能な位置へ切り替える。次いで、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62、34を介してウエハステージW S T及びレチクルステージR S Tの位置を制御して、図5のレチクルR上に描画されたレチクルアライメントマークR M1、R M4、R M2、R M5、R M3、R M6を順次各2つずつEUV光E L1で照射すると共に、レチクルアライメントマークR M1、R M4、R M2、R M5、R M3、R M6のウエハW面上への投影像を、空間像計測器F M1のスリットS L T1、S L T2をそれぞれ介して検出することにより、レチクルパターン像のウエハW面上への投影位置を求める。即ち、レチクルアライメントを行う。

【0076】このレチクルアライメントのため、空間像計測器F M1を用いて前記投影像を検出する際には、主制御装置80では、レチクルRの2駆動により空間像計測器F M1で得られる像にボケが生じないように、レチクルRの2駆動量に対応したオフセットをフォーカスセンサ（14a、14b）に与えて空間像計測器F M1の表面を投影光学系P Oの焦点位置に制御する。具体的には、主制御装置80では、レチクルRを40μmだけ投影光学系P Oから離れる方向に駆動した場合には、投影倍率が1/4であるから、 $40 \times 1/16 = 2.5 \mu\text{m}$ のオフセットをフォーカスセンサ14に与え、このフォーカスセンサ14の出力に基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージW S Tの2位置をフィードバック制御し、ウエハWを2.5μmだけ投影光学系P Oに近づける。

【0077】次に、主制御装置80では、空間像計測器

(13)

特開2000-100697

23

24

FM1のスリットSLT1又はSLT2がアライメント光学系ALGの直下へ位置するように、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを移動すると共に、アライメント光学系ALGの焦点位置に空間像計測器FM1の表面のZ位置を調整する。そして、主制御装置80では、アライメント光学系ALGの検出信号及びそのときの干渉計システム70の計測値に基づいて、間接的にレチクルRのパターン像のウエハW面上への投影位置とアライメント光学系ALGの相対位置、即ちベースライン量を求め、その演算結果をメモリ81に記憶する。なお、空間像計測器FM1のスリットSLT1、SLT2の丁度中間の位置に別の基準マークを形成し、この基準マークをアライメント光学系ALGで検出することにより、ベースライン量を求めてもよい。かかる場合には、アライメント光学系ALGの検出結果と、ベースライン量の設計値とに基づいてベースライン量をほぼ正確に求めることができる。

【0078】また、主制御装置80では、上記のレチクルアライメントの際に、空間像計測器FM1のスリットSLT1、SLT2をそれぞれ介して検出されたレチクルR上に非走査方向並んで配置されたレチクルアライメントマークRM1とRM4（RM2とRM5、又はRM3とRM6）のウエハW面上への投影像の間隔に基づいて投影倍率を求める。

【0079】次に、主制御装置80では上記の倍率計測の結果に基づいて、目標とする倍率調整量、上の例では10ppm、に対し投影倍率の調整残留誤差が許容値（例えば0.2ppm）以下となっているかを判断する。そして、この判断が否定された場合、即ち投影倍率の調整残留誤差が許容値を越えていた場合、主制御装置80では投影倍率を再設定するため、レチクルRを駆動する工程に戻り、再びレチクルRをZ方向に駆動した後、上記処理・判断を繰り返す。一方、その判断が肯定された場合、即ち投影倍率の調整残留誤差が許容値以下となっていたら、主制御装置80では駆動機構46を介してスリット板44を照明領域1AにEUV光EL1が照射される位置へ切り替えた後、次の工程に移行する。

【0080】この工程において、主制御装置80では次のようにしてステップ・アンド・スキャン方式の露光をEUV光EL1を露光光として用いて行う。即ち、主制御装置80では上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報に従って、干渉計システム70からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めすると共に、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、主制御装置80では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62を介してレチクルステージRSTとウエハステージ

WSTとの速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）を行う。これにより、この走査露光中の走査方向（Y方向）のレチクルパターン像の投影倍率が制御される。こうして第1ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にし

て行う。
【0081】この場合、レチクルステージRSTを戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第1ショットと第2ショットとの走査露光の方向は反対向きで、即ち第1ショットの露光がY軸上の+側から+側の向きで行われた場合には第2ショットの露光は+側から-側の向きで行われる。即ち交互スキャンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。以上のようにして、露光装置10による、1枚のウエハWに対する一連の処理工程が終了する。

【0082】本例によると、レーザプラズマ光源16及び照明系（PRM、IM、M）は露光光として、波長5～20nmの間のEUV光EL1をレチクルRに照射し、投影光学系POとして複数の反射光学系素子（M1～M4）のみからなる反射系が用いられているため、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が可能である。

【0083】なお、上記の実施の形態では、EUV光EL1を用いて露光を行っているが、この露光は例えばウエハ上で最も高い解像度が要求されるクリティカルレイヤへの露光に際して行われる。これに対して例えばラフレイヤでは必ずしもEUV光EL1を使用する程の高い解像度は必要とされない。そこで、ラフレイヤへの露光を行う際には、図2の波長選択装置30を介して光源装置12からの紫外光EL2を選択し、この紫外光EL2を用いて露光を行うようにしてもよい。本例の照明系、及び投影光学系POは全て反射系であるため、紫外光EL2を使用する際にも色収差が発生しないため、照明系、及び投影光学系POを用いて必要な解像度で露光を行うことができる。これによって、本例の露光装置は、クリティカルレイヤにもラフレイヤにも使用することができる。

【0084】また、上記の実施の形態では、EUV光EL1の他に紫外光EL2や可視光ALを発生する露光光源としての広帯域光源としてレーザプラズマ光源16が使用されている。これ以外に、その広帯域光源としては、複数の波長の光を発生するレーザ光源、又はSOR（Synchrotron Orbital Radiation）リング等を使用する

(14)

特開2000-100697

25

26

ことができる。

【0085】更に、上記の実施の形態は定露光型で縮小投影型の露光装置に本発明を適用したものであるが、本発明は、例えばEUV光を用いて投影光学系を介することなく直接レチクルのパターンをウエハ上に転写するプロキシミティ方式の露光装置において、照明系の調整を行う場合にも適用することができる。また、上記の実施の形態では、露光光としてのEUV光EL1が軟X線領域の光であり、ウエハステージWST上に、蛍光発生物質63と、この表面にEUV光EL1の反射層62の薄膜により形成されたスリットSLTと、該SLTを介してEUV光EL1が蛍光発生物質63に到達した際に蛍光発生物質63が発する光を光電変換する光電変換素子PMと、を有する位置検出系としての空間像計測器FMIを備えることから、通常軟X線領域の光を透過する物質は存在しないにも関わらず、かかる光を露光用照明光として用いる場合にもその露光用照明光を用いて空間像の計測が可能となり、この空間像計測器FMIを用いてレチクルパターンのウエハステージWST上での投影位置を容易に求めること等が可能になる。

【0086】また、上記実施の形態では、スリット板44を用いて円環状の照明領域Aを規定する場合について説明したが、これに限らず、照明光学系を構成する各光学部材が照明光ELが円環状の形になるように設計されていればレチクルR直下のスリット板44は必ずしも設ける必要はない。また、レチクルアライメントマークRM1～RM6の位置は図5の位置ではなく、図5中のRM7～RM12の位置にしても良い。かかる場合には、スリット板44として、照明領域Aのみを照明するスリット板があれば良く、また、駆動機構46は不要である。あるいは、レチクルアライメントマークをRM1～RM12の全ての位置に形成し、これら全てを利用しても良い。

【0087】なお、上記の実施の形態の露光装置は、既に説明したように、照明系や投影光学系POの調整を行うと共に、各構成要素を、電氣的、機械的又は光学的に連結して組み上げられる。そして、上記のように露光が行われたウエハWが、現像工程、パターン形成工程、ボンディング工程等を経ることによって、半導体素子等のデバイスが製造される。

【0088】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0089】

【発明の効果】本発明の第1、第2又は第3の露光装置の調整方法によれば、露光用の照明光及び非露光波長の光を発生する露光光源が使用されているため、別途調整用の光源を用いることなく、内部の光学系の調整を短時間に、かつ高精度に行うことができる。

【0090】そして、露光用の照明光が極端紫外光(EUV光)である場合に、照明系が反射系であり、投影光学系を有する場合にこの投影光学系も反射系であるときには、色収差が生じないため、非露光波長の光を用いることによって高精度に、かつ効率的に内部の光学系の調整を行うことができる。また、本発明の露光装置によれば、本発明による露光装置の調整方法を実施できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例の露光装置を示す概略構成図である。

【図2】 図1中の光源装置12を示す図である。

【図3】 図2の左側面図である。

【図4】 図1中のレチクルステージ近傍の構成を詳細に示す一部を切り欠いた図である。

【図5】 レチクルの概略構成を示す平面図である。

【図6】 図1の投影光学系POの内部構成を概略的に示す断面図である。

【図7】 (A)は空間像計測器FMIを示す平面図、

(B)は図7(A)の一部を切り欠いた側面図である。

【図8】 ウエハ(ウエハステージ)及びレチクル(レチクルステージ)の位置及び姿勢制御に関連する制御系の構成を示すブロック図である。

【図9】 その実施の形態の露光装置の組立調整時の動作の一例を示すフローチャートである。

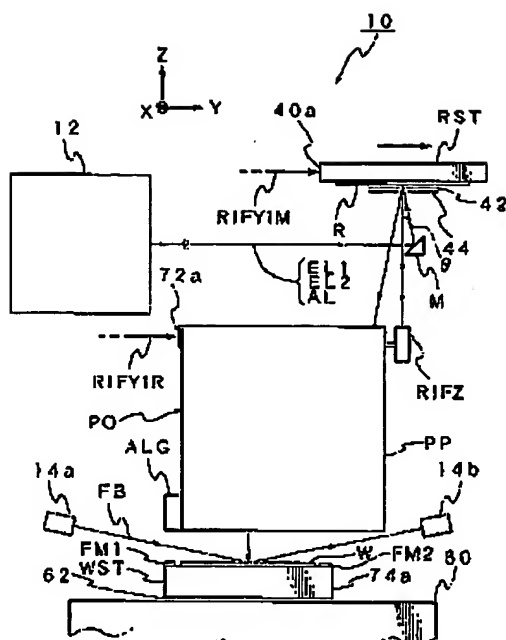
【符号の説明】

10…露光装置、12…光源装置(照明系の一部を含む)、16…レーザプラズマ光源、30…波長選択装置、34…磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ、44…スリット板、62…磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータ、63…蛍光発生物質、80…主制御装置、81…メモリ、R…レチクル、EL1…露光光としてのEUV光、EL2…紫外光、AL…可視光、M…折り返しミラー、PO…投影光学系、WST…ウエハステージ(基板ステージ)、ALG…アライメント光学系(マーク検出系)、FMI、FM2…空間像計測器、RIFZ…レチクル面計測用レーザ干渉計、RST…レチクルステージ、SLT1、SLT2…スリット(開口)、PM…光電変換素子

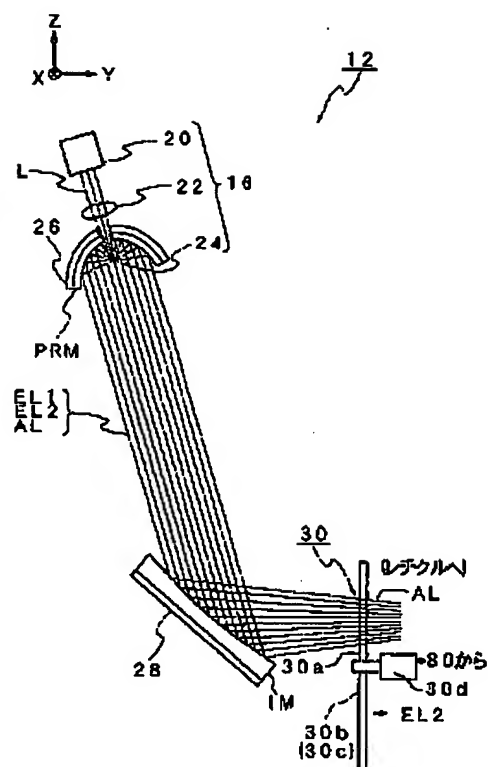
(15)

特開2000-100697

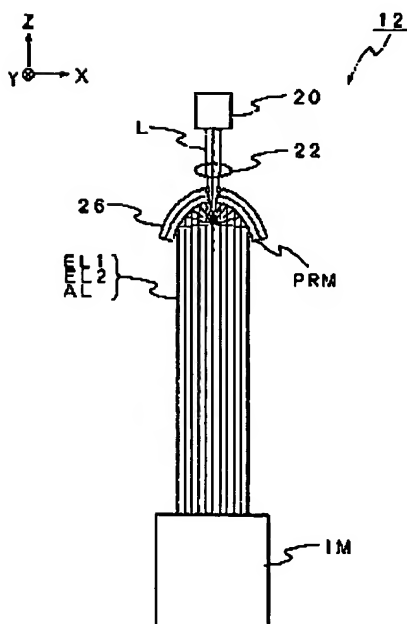
【図1】



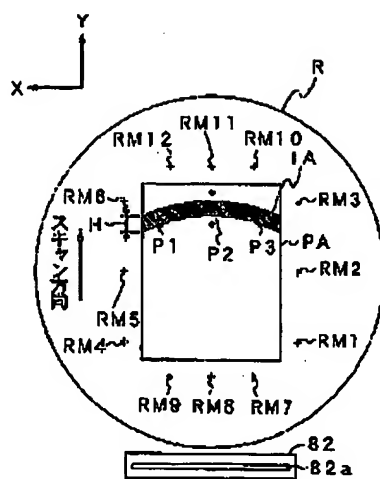
【図2】



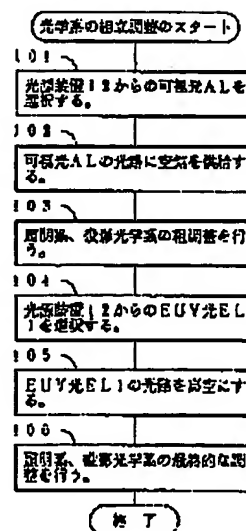
【図3】



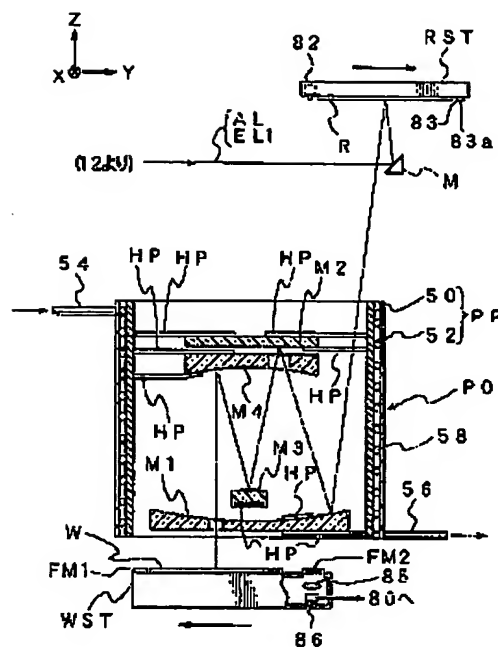
【図5】



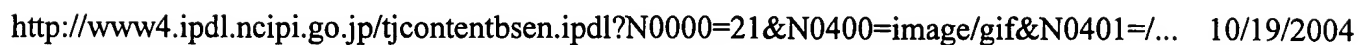
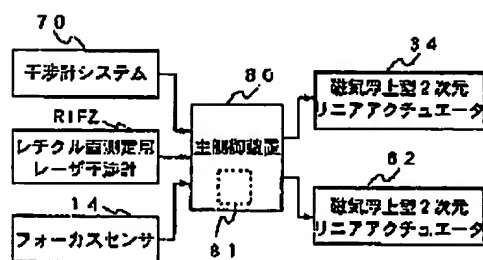
【図9】



【圖6】



【圖8】



(17)

特開2000-100697

フロントページの続き

(72)発明者 萩原 恒幸

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

Fターム(参考) 5F046 BA04 BA05 CA03 CA08 CB03

CB17 DA12 GA03 GA18 GC03

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.